



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0031518
(43) 공개일자 2009년03월26일

(51) Int. Cl.

C23C 14/34 (2006.01) C23C 14/08 (2006.01)
H01M 8/12 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-7031211

(22) 출원일자 2008년12월23일

심사청구일자 없음

번역문제출일자 2008년12월23일

(86) 국제출원번호 PCT/AT2007/000338

국제출원일자 2007년07월05일

(87) 국제공개번호 WO 2008/003113

국제공개일자 2008년01월10일

(30) 우선권주장

GM 534/2006 2006년07월07일 오스트리아(AT)

(71) 출원인

플란제 에스이

오스트리아, 아-6600 로이테, 메탈베르크
플란제-슈트라쎄 71

(72) 발명자

카일러, 칼

오스트리아, 아-6600 브라이텐방, 래르헨베크 18
쿤스헤르트, 게오르그

오스트리아, 아-6600 플라흐, 크니파쓰슈트라쎄
19

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김태원

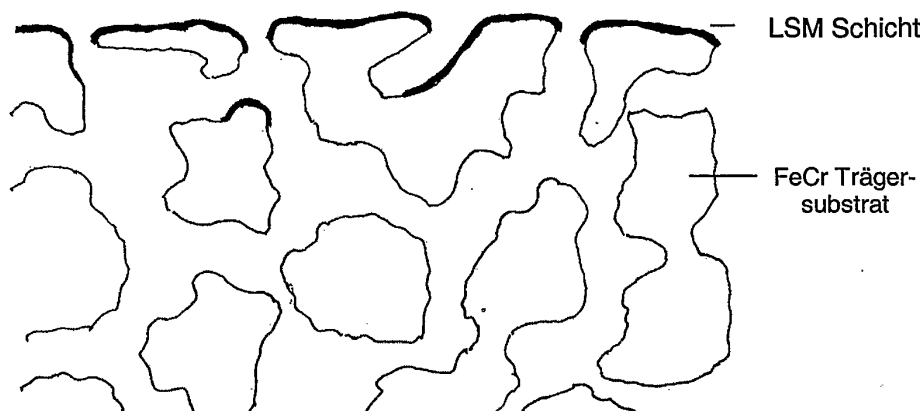
전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) 전기 전도층 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 펄스 스퍼터 공정에 의해 전기 전도성의 바람직하게는 페로브스카이트 층을 증착하는 방법에 관한 것이다. 이러한 층은 철족 원소에 대해 낮은 확산율을 가지며, 특히 SOFC 연료 전지 적용 분야에 적합하다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

슐리히트헤르레, 슈테판

오스트리아, 아-6632 예르발트, 암 투프트베크 1

슈트라우스, 게오르크

오스트리아, 아-6232 윈스터, 도르프 82 엠

특허청구의 범위

청구항 1

전기 전도성 세라믹 층을 제조하는 방법에 있어서,
상기 층은 펄스 스퍼터링 공정에 의해 제조되는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 세라믹 층 제조 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,
층은 페로브스카이트 구조를 갖는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 세라믹 층 제조 방법.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,
산화물 세라믹 스퍼터링 타겟이 사용되는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 세라믹 층 제조 방법.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,
스퍼터링 타겟의 원소들의 농도는 층의 각각의 원소의 농도와 최대 5%만큼 다른 것을 특징으로 하는 전기 전도성 세라믹 층 제조 방법.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,
층은 1 내지 1000 kHz의 펄스 전압 주파수에서 증착되는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 세라믹 층 제조 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,
층은 10 내지 500 kHz의 펄스 전압 주파수에서 증착되는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 세라믹 층 제조 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,
층은 100 내지 350 kHz의 펄스 전압 주파수에서 증착되는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 세라믹 층 제조 방법.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,
층은 +100 내지 -1000 V의 전압 실효치로 증착되는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 세라믹 층 제조 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,
층은 +100 내지 -500 V의 전압 실효치로 증착되는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 세라믹 층 제조 방법.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서,
층은 1 내지 30 W/cm²의 평균 전력 밀도로 증착되는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 세라믹 층 제조 방법.

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서,

사용되는 공정 가스는 1×10^{-4} 내지 9×10^{-2} mbar의 압력을 갖는 불활성 가스, 바람직하게는 아르곤인 것을 특징으로 하는 전기 전도성 세라믹 층 제조 방법.

청구항 12

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서,

층은 구조식 ABO_2 를 가지며, 상기 A는 La, Ba, Sr, Ca로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 이상의 원소를 포함하고, 상기 B는 Cr, Mg, Al, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn으로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 이상의 원소를 포함하는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 세라믹 층 제조 방법.

청구항 13

제1항 내지 제12항 중 어느 한 항에 있어서,

0.1 내지 5 μm 의 두께를 갖는 층이 증착되는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 세라믹 층 제조 방법.

청구항 14

제1항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서,

이론 밀도의 99%를 초과하는 밀도를 갖는 층이 증착되는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 세라믹 층 제조 방법.

청구항 15

제1항 내지 제14항 중 어느 한 항에 있어서,

0.5중량% 미만, 바람직하게는 0.1중량% 미만의 불순물 함량을 갖는 층이 증착되는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 세라믹 층 제조 방법.

청구항 16

제1항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서,

층은 고체 산화물 연료 전지(SOFC)에 사용되는 구성 부재에 증착되는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 세라믹 층 제조 방법.

청구항 17

제16항에 있어서,

층은 다공성 기판에 증착되는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 세라믹 층 제조 방법.

청구항 18

이론 밀도의 40 내지 70%의 밀도와 주된 개공 구조를 가지며, 15 내지 35중량%의 Cr과, Ti, Zr, Hf, Mn, Y, Sc, 희토류로 이루어진 군으로부터 선택되는 0.01 내지 2중량%의 하나 이상의 원소와, 0 내지 10중량%의 Mo 및/또는 Al과, Ni, W, Nb, Ta로 이루어진 군으로부터 선택되는 0 내지 5중량%의 하나 이상의 금속과, 0.1 내지 1중량%의 O와, 잔부 Fe와, 불순물을 포함하는 Fe계 합금의 소결 입자로 구성되는 다공성 지지 기판에 있어서,

상기 다공성 지지 기판에 0.1 내지 5 μm 의 두께를 갖는 전기 전도성 세라믹 PVD 층이 증착되는 것을 특징으로 하는 다공성 지지 기판.

명세서

기술분야

<1> 본 발명은 페로브스카이트 구조(perovskitic structure)를 갖는 전기 전도층을 제조하는 방법에 관한 것이다.

배경기술

- <2> 페로브스카이트 구조를 갖는 보호층이 예를 들어 고온 연료 전지(SOFC: Solid Oxide Fuel Cell(고체 산화물 연료 전지))에 사용되고 있다. 이러한 보호층은 대략 650 내지 900℃의 온도에서 작동되는데, 왜냐하면 이러한 온도에서만 효율적인 에너지 생성을 위한 열역학적 조건이 형성되기 때문이다. 평면형 SOFC 시스템의 경우에, 음극, 고체 전해질 및 양극으로 구성되는 개별 전기 화학 전지들이 적층되어 스택(stack)을 형성하며, 이른바 인터커넥터(interconnector)로 불리는 금속 구성 부재에 의해 연결된다.
- <3> 이러한 인터커넥터는 또한 양극 및 음극 가스 공간을 분리시킨다. 치밀한(dense) 인터커넥터는 고효율의 고온 연료 전지를 확보하도록 하는 데 있어서 치밀한 전해질 층만큼 중요하다. 인터커넥터에 적합한 재료는 또한 충분한 전도성과, 공기 측에서의 산화 조건 및 연료 가스 측에서의 환원 조건에 대한 충분한 저항성을 가져야 한다. 이러한 요건은 현재 산화 이트륨, 크롬-리치 페라이트(chromium-rich ferrite)로 도핑된 란탄 크로마이트, 크롬/철 합금에 의해 가장 우수하게 충족되고 있다. 사용 중 크롬의 증발을 줄이기 위해서, 페로브스카이트 구조를 갖는 전도층이 인터커넥터에 증착된다.
- <4> 도핑의 특성 및 정도에 따라, 현재 SOFC의 음극 제조에 사용되고 있는 페로브스카이트는 혼합 전도체의 특성, 즉 전자 및 이온 모두를 전달한다. 페로브스카이트는 높은 산소 분압에서도 열역학적으로 안정하며, 접촉 연결의 개선을 위해서, 음극과 대면하는 인터커넥터의 면에 도포된다.
- <5> 페로브스카이트 세라믹을 포함한 접촉 페이스트로 간단히 표면을 코팅하는 것 외에, APS[Atmospheric Plasma Spraying(대기 플라즈마 용사)], VPS[Vacuum Plasma Spraying(진공 플라즈마 용사)], 딥 코팅(dip coating), 습식 분말 용사(wet powder spraying)와 같은 공정들이 제시되었거나, 인터커넥터의 코팅에 준산업적 규모(semi-industrial scale)로 사용되고 있다. 이러한 용사 공정은 또한 고온 연료 전지에 전기 화학적 활성 전지 층을 제조하는 데 사용된다. VPS 및 APS는 진공 하에서 또는 대기 조건 하에서 행해지는 용사 공정들이다. 이러한 공정들에서, 분말은 플라즈마 제트에서 용융되며, 분말 입자는 기판 표면과의 충돌시 즉시 수 μm 의 두께를 갖는 평탄한 형태로 응고된다. 이러한 공정에서는 어떤 일정 정도의 잔류 세공(residual porosity)을 막을 수 없다. 최대한 기밀 구조(gas-tight structure)의 달성을 위해서, 대략 30 내지 50 μm 의 층 두께를 갖는 두꺼운 층이 증착된다. 따라서, 대량의 세라믹 재료가 기판 표면에 도포되며, 이는 그에 상응하게 고비용을 초래한다. 또한, 두꺼운 층의 경우에 전자 전달이 감소된다. 또한, 항상 존재하는 세공은 전자 전달을 감소시킨다.
- <6> 염화 화합물과 1100 내지 1300℃의 증착 온도에서 수증기와의 반응에 기초하는 CVD 공정이 또한 시험되었다. 이러한 공정을 이용하여 20 내지 50 μm 의 두께를 갖는 층이 제조되었다. 이러한 공정도 역시 고비용을 소요하며, 높은 증착 온도도 또한 불리하다.
- <7> 종래에 인터커넥터의 접촉 연결 중에 발생하였던 문제점들을 보다 효율적으로 해소하기 위해서, 새로운 평면형 SOFC 개념이 또한 제시되었으며, 가장 최근에 이러한 평면형 SOFC 개념은 전기 화학 전지가 다공성 지지 기판에 직접 도포되는 이른바 MSC[Metal Supported Cell(금속 지지 전지)] 개념을 포함하고 있다. 이러한 다공성 금속 지지 기판은 음극측 및 양극측 모두에 사용될 수 있다. 양극측에서의 MSC 개념은 높은 전력 밀도(power density)가 달성되도록 하고 저렴한 대안을 구성한다.
- <8> NiO-YSZ(산화 니켈-이트륨 안정화 산화 지르코늄)로 구성되고 다공성 금속 지지 기판과 직접적으로 재료 접촉되는 양극이 MSC 개념에 사용된다. 종래에 이러한 지지 기판은 높은 Cr 함량을 갖는 Fe계 합금으로 구성되기 때문에, 650 내지 900℃의 온도에서 사용시, Ni는 양극으로부터 지지 기판 또는 Fe로 확산되며, Cr은 지지 기판으로부터 NiO-YSZ로 확산된다. 이러한 상호 확산(interdiffusion) 현상의 결과, Fe-Cr-Ni의 확산 영역이 접촉 영역에 형성된다. 지지 기판과의 비교시, 이러한 확산 영역은 상당히 높은 열팽창 계수를 갖는다. 이는 파쇄를 초래할 수 있어, 심각한 열화 또는 전체 불량을 초래할 수 있다. 상호 확산은 페로브스카이트 확산 방지층(diffusion barrier layer)에 의해 방지될 수 있다. 현재까지, 이는 다공성 층을 증착시킴으로써 행해졌는데, 왜냐하면 그렇지 않으면 지지 기판이 더 이상 가스를 투과시키지 못하기 때문이다. 플라즈마 용사 확산 방지층이 또한 인터커넥터의 음극측에 도포된다. 이러한 경우에, 아주 두꺼워 많은 비용을 소요하는 층을 사용하는 것은 그의 본질적으로 높은 다공률로 인해 불리하다.

발명의 상세한 설명

- <9> 따라서, 본 발명의 목적은 우선 얇으면서도 치밀한 전기 전도성 세라믹 층을 저렴하게 제조하는 방법을 제공하는 데 있다.
- <10> 본 발명의 다른 목적은, 다공성 지지 기판에 도포되고 지지 기판의 가스 투과도를 현저히 저하시키지 않는 전도

성 세라믹 확산 방지층을 제공하는 데 있다.

- <11> 이러한 목적은 청구범위 독립항들에 의해 달성된다. 이러한 경우에, 바람직하게는 페로브스카이트 구조를 갖는 전기 전도성 세라믹 층이 펄스 스퍼터링 공정(pulsed sputtering process)에 의해 증착된다. 본 발명에 따른 방법은 얇으면서도 치밀하고 기능적인 세라믹 층을 치밀하지만 다공성인 기판 재료에 균일하게 도포할 수 있도록 한다. 도포된 층을 통한 물질 전달은 결함 구조(defect mechanism)로 제한된다. 600℃ 이상의 온도에서도, 예를 들어 본 발명에 따른 층에서 크롬의 확산율은 매우 낮다. 이는 바람직하게는 0.1 내지 5 μm 의 두께를 갖는 아주 얇은 층을 확산 방지층으로서 사용할 수 있도록 한다. 장벽 효과(barrier effect)는 0.1 μm 이하의 두께에서는 불충분하다. 층은 5 μm 이상의 두께에서는 파쇄되기 쉽다. 얇은 층의 사용은 금속 인터커넥터/층 시스템의 전자 전달률을 증가시킨다.
- <12> 본 발명에 따른 층이 다공성 지지 기판에 도포되면, 밀폐된 상단층이 형성되지 않는다. 따라서, 지지 기판의 주된 개공 구조(open-pored structure)가 유지된다. 그 결과, 코팅된 지지 기판은 우수한 이동 및 접촉 연결 특성을 갖는다. 다공성 지지 기판은 바람직하게는 이론 밀도의 40 내지 70%의 밀도를 가지며, 바람직하게는 15 내지 35중량%의 Cr과, Ti, Zr, Hf, Mn, Y, Sc, 희토류로 이루어진 군으로부터 선택되는 0.01 내지 2중량%의 하나 이상의 원소와, 0 내지 10중량%의 Mo 및/또는 Al과, Ni, W, Nb, Ta로 이루어진 군으로부터 선택되는 0 내지 5중량%의 하나 이상의 금속과, 0.1 내지 1중량%의 O와, 잔부 Fe와, 불순물을 포함하는 Fe계 합금의 소결 입자로 구성된다.
- <13> 복합체 층 재료의 화학양론적 증착(stoichiometric deposition)과 예컨대 높은 밀도 및 우수한 전기 전도도와 같은 필요로 하는 층 특성의 달성이 불가하기 때문에, 현재까지 반응성 PVD 공정의 난해한 공정 관리로 인해 반응성 PVD 공정이 전도성 세라믹 층, 특히 페로브스카이트 구조를 갖는 유전층의 증착에 적합치 않은 것으로 생각되었으므로, PVD 공정은 인터커넥터를 세라믹 재료로 코팅시키는 데 이용되지 않는다.
- <14> 스퍼터링의 경우에, 층은 공정으로 인해 상이한 에너지를 갖는 전기적 중성 입자들로 구성된다. 따라서, 코팅 재료는 타겟(target)으로서 기판과 대면한다. 스퍼터링 중에, 타겟에는 양이온이 충돌된다. 기판(홀더)과 타겟 사이에 전압이 인가되어, 양이온이 타겟 쪽으로 가속되어서 원자 또는 분자를 방출시키며, 이러한 원자 또는 분자는 외부장(outer field)의 영향을 받지 않는 중성 입자로서 기판에 안착되어 얇은 기능층을 형성한다. 스퍼터링 공정에 필요한 양이온의 형성을 위해서, 독립적인 글로우 방전 원리(glow discharge principle)가 이용된다. 양극과 음극 사이의 공간이 배기되어 공정 가스로 채워진다. 양극과 음극 사이에 전압이 인가된다. 이는 실질적으로 3개의 영역, 즉 음극 암부(cathode dark space), 준중성 전이 영역(quasi-neutral transition zone) 및 양극주(positive column)를 형성한다. 따라서, 음극과 양극 간의 처리 절차는 다음의 과정: 즉 가스 원자의 전자 충격 이온화, 음극에서의 이온 유도 전자 방출, 양극에서의 전자 유도 2차 방출 및 이온 충격 스퍼터링으로 요약될 수 있다.
- <15> 펄스 스퍼터링 플라즈마(pulsed sputtering plasma)의 사용은 상당히 높은 타겟 전류 및 아크 전류의 사용을 가능케 한다. 전류 강도가 높아질수록, 코팅률이 상당히 높아질 수 있다.
- <16> 산화물 세라믹 스퍼터링 타겟의 사용은 공정의 비반응 수행을 가능케 하며, 이는 높은 공정 안정성을 달성시키고 기술적 복잡성을 감소시킨다. 다중 전하 입자(multiply charged particle)의 함량과 이러한 입자의 운동 에너지는 비교적 고도의 플라즈마 여기(plasma excitation)에 의해 증가될 수 있으며, 이는 기판 바이어스(bias) 없는 코팅을 제공할 수 있다. 이는 예컨대 보다 높은 층 밀도, 개선된 점착성, 보다 높은 전기 전도성 및 개선된 내화학성과 같은 개선된 층 특성을 형성한다.
- <17> 스퍼터링 타겟의 원소의 농도는 층의 반응성 원소의 농도와 같아야 5%만큼 다르다. 따라서, 본 발명에 따른 방법은 세라믹, 바람직하게는 페로브스카이트 층이 가열되지 않은 기판에도 화학양론적으로 증착되도록 한다. 이렇게 형성된 층 표면은 평활하며 화학적으로 안정하다.
- <18> 이러한 경우에, 층은 1 내지 1000 kHz의 펄스 전압 주파수에서 증착된다. 1 kHz 이하이거나 DC 동작 중에는, 유전체 증착의 경우에 안정된 코팅 공정이 수행되지 못하며, 그 대신에 전기 플래시오버(flashover) 및 아크가 발생된다. 1000 kHz 이상에서는, 공정 임피던스(process impedance)를 제어하는 데 소요되는 적응 유닛(adapting unit)의 수와 전압 공급에 대한 기술적 비용이 경제적인 코팅을 하기에는 너무 커진다. 이러한 공정은 10 내지 500 kHz, 바람직하게는 100 내지 350 kHz의 주파수 선택시 아주 경제적이다. 이러한 경우에, 전압 실효치(root-mean-square value)는 +100 내지 -1000 V, 바람직하게는 +100 내지 -500 V이다. AC 전압의 전압 실효치는 동일한 열효과에 해당하는 DC 전압치를 의미하는 것으로 이해된다. 피크 진폭 대 실효치의 비율은 파

고율(crest factor)이라고 부르며 예컨대 사인파에 대해 1.41이다. 상기한 한계치 이하의 값에서는 입자 에너지가 소망하는 스퍼터링 공정에 대해 너무 낮다. 상기한 한계치 이상의 값에서는 높은 입자 에너지로 인해 예컨대 증발층의 스퍼터링 이탈(sputtering away), 높은 장 강도(field strength)로 인한 전기 플래시오버, 기관 내의 주입, 소망하지 않는 온도 상승 등과 같은 소망하지 않는 효과를 형성할 수 있으며, 이는 페로브스카이트 구조를 갖는 층의 증착을 저해한다.

- <19> 1 내지 30 W/cm²의 평균 전력 밀도에 의한 층의 증착이 바람직한 것으로 판명되었다. 1 W/cm² 이하에서는 코팅율이 너무 느려, 산업적 실시에 대해 코팅 시간이 너무 길다. 30 W/cm² 이상에서는 타겟에서의 에너지 입력이 너무 커서, 페로브스카이트 타겟 재료의 열분해가 초래된다.
- <20> 사용되는 공정 가스는 불활성 가스, 바람직하게는 아르곤으로서, 1×10^{-4} 내지 9×10^{-2} mbar의 압력을 갖는다. 1×10^{-4} mbar 이하에서는 스퍼터링 공정이 개시될 수 없다. 9×10^{-2} mbar 이상에서는 스퍼터링된 층 입자의 자유 경로 길이가 너무 많은 충격 공정으로 인해 너무 작아진다. 이는 스퍼터링된 층 입자의 운동 에너지를 감소시키며, 이는 소망하는 층 특성을 달성할 수 없음을 의미한다.
- <21> 세라믹 층은 바람직하게는 구조식 ABO₃를 갖는 페로브스카이트 구조를 갖는다. 이러한 경우에, 결정 구조는 입방 구조, 사방 구조 또는 정방 구조이다. A는 La, Ba, Sr, Ca로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 이상의 원소를 포함한다. B는 Cr, Mg, Al, Mn, Fe, Co, Ni, Cu 및 Zn으로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 이상의 원소를 포함한다. 층은 바람직하게는 이론 밀도의 99%를 초과하는 밀도와, 0.5중량% 미만, 바람직하게는 0.1중량% 미만의 불순물 함량을 갖는다.
- <22> 이하에서는 실시예들을 중심으로 본 발명을 보다 상세히 설명한다.

실시예

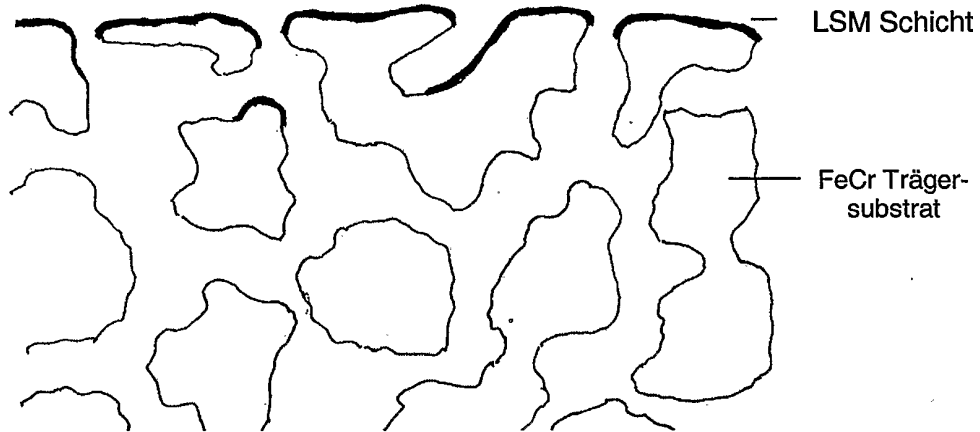
- <27> 실시예 1
- <28> 26중량%의 Cr, 0.5중량%의 Y₂O₃, 2중량%의 Mo, 0.3중량%의 Ti 및 0.03중량%의 Al과 잔부 Fe의 조성을 갖는 다공성 지지 기관을 펄스 비반응 DC 공정(pulsed, non-reactive DC process)에 의해 코팅하였다. 이는 72 mm의 직경을 갖는 LSM 타겟(La_{0.8}Sr_{0.2}Mn산화물)이 설치된 에드워즈 스퍼터 코터(Edwards sputter coater)를 사용하여 행하였다. 400 W의 스퍼터링 전력, 149 V의 전압, 2.01 A의 전류, 350 kHz의 주파수(1.1 μs의 펄스 지속 시간을 갖는) 및 5×10^{-3} mbar의 공정 압력을 또한 설정하였다. 이는 3 μm의 두께와 La_{0.8}Sr_{0.2}Mn산화물(LSM)의 조성을 갖는 LSM 층을 형성하였다. 도 1은 다공성 지지 기관상에 증착된 층의 배치를 개략적으로 도시하고 있다.
- <29> 실시예 2
- <30> 26중량%의 Cr, 0.5중량%의 Y₂O₃, 2중량%의 Mo, 0.3중량%의 Ti 및 0.03중량%의 Al과 잔부 Fe의 조성을 갖는 다공성의 치밀한 지지 기관들을 펄스 비반응 DC 공정에 의해 코팅하였다. 이는 72 mm의 직경을 갖는 LSC 타겟(La_{0.8}Sr_{0.2}Cr산화물)이 설치된 에드워즈 스퍼터 코터를 사용하여 행하였다. 400 W의 스퍼터링 전력, 149 V의 전압, 2.01 A의 전류, 350 kHz의 주파수(1.1 μs의 펄스 지속 시간을 갖는) 및 5×10^{-3} mbar의 공정 압력을 또한 설정하였다. 이는 3 μm의 두께와 조성 La_{0.8}Sr_{0.2}CrO₃를 갖는 LSC 층을 형성하였다.
- <31> 이어서, LSC 층을 50 μm 두께의 APS 니켈층으로 코팅하였다. 이러한 철/크롬 합금(다공성 및 무공성)-LSC 층(3 μm)-APS 니켈층(50 μm) 구조체를 니켈로부터 철로의 또는 철로부터 니켈로의 얇은 LSC 층의 확산 방지 효과를 확인하는 데 사용하였다. 이러한 경우에, 구조체를 850℃ 내지 1000℃에서 100 시간 동안 시효 처리하였다. 확산 특성을 EPMA 측정치를 사용하여 기록하였다(도 2). LSC 층은 상기한 시험 조건에서 니켈로부터 철로의 또는 철로부터 니켈로의 확산을 방지한다. 증착된 LSC 층은 높은 전기 전도성(사용한 타겟에 상응하는), 99.9% 초과하는 높은 밀도, 균일한 층 구조, 그리고 기관의 평균 조도 수치(roughness value)와 동일한 평균 조도 수치를 갖는 평활한 표면을 갖는다. 이러한 공정 결과, EPMA 및 EDX에 의해 외래 원자 함유물이 전혀 측정되지 않는다.

도면의 간단한 설명

- <23> 도 1은 다공성 기관상의 페로브스카이트 층의 배치를 개략적으로 도시한 도면이다.
- <24> 도 2는 850℃에서 1000 시간 동안의 시효 처리 후에, LSC 층 및 Ni 층이 증착된 다공성 기관의 EPMA 측정치를 도시한 도면이다.
- <25> 도면 번역
- <26> 도 1에서 LSM Schicht : LSM 층, FeCr Träger-substrat: FeCr 지지 기관

도면

도면1



도면2

